

Power in de sport: een stap terug in de theorie, een stap vooruit in de praktijk

AUTEURS

DRS. AELES J.
DR. IR. HOOGKAMER W.
PROF. DR. VANWANSEELE B.

REDACTEUR

BLOEMEN D.

INSTITUUT

*Katholieke Universiteit Leuven, Faculteit Bewegings- en
Revalidatiewetenschappen (FaBeR)*

ABSTRACT

Het ontwikkelen van een hoge maximale power is belangrijk in tal van explosieve sporten. Het verhogen van de maximale power capaciteiten van een atleet is dan ook een alledaags vraagstuk bij trainers en coaches uit verschillende sportdisciplines. Recent is er vanuit de wetenschap een nieuwe theoretische methode naar voren gebracht die relatief eenvoudig kan ingezet worden in de praktijk. We gaan een stap terug in de theorie en kijken niet alleen naar de maximale power, maar naar individuele kracht-snelheid profielen. Naast deze experimenteel bepaalde profielen kan er per atleet een theoretisch optimaal profiel berekend worden. Het verschil tussen deze twee profielen geeft aan hoeveel de atleet onder zijn/haar maximaal mogelijke capaciteiten werkt en geeft informatie over het type training waarop de focus gelegd moet worden om deze onbalans weg te werken en zo de prestatie te verbeteren.

Sleutelwoorden

Power, kracht-snelheid profielen, explosiviteit

Datum**Contactadres**

jeroen.aeles@faber.kuleuven.be -  @AelesJ
wouter.hoogkamer@faber.kuleuven.be -  @woutersinas
benedicte.vanwanseele@faber.kuleuven.be -  @BeBiomech
Sports Biomechanics Research Group Leuven -  @SBLeuven

Disclaimer: Het hierna bijgevoegde product mag enkel voor persoonlijk gebruik worden afgehaald. Indien men wenst te dupliceren of te gebruiken in eigen werk, moet de bovenvermelde contactpersoon steeds verwittigd worden. Verder is een correcte bronvermelding altijd verplicht!

POWER IN DE SPORT: EEN STAP TERUG IN DE THEORIE, EEN STAP VOORUIT IN DE PRAKTIJK

1. Power has the power

“Sport has the power to change the world”, zei Nelson Mandela op de Laureus World Sports Awards in 2000. Wijze woorden, die we met wat creativiteit hebben omgebogen tot de hoofdboodschap van dit artikel: “Power has the power to change the world of sport”. Het zal u reeds duidelijk zijn, dit artikel handelt over het gebruik van power in de sport, maar over welke power hebben we het nu juist? Power, in het Nederlands vermogen (om verwarring te vermijden, zullen wij in dit artikel de term ‘power’ blijven gebruiken), is een parameter die vaak gebruikt wordt om explosiviteit te kwantificeren. Het is een maat voor de hoeveelheid energie die per tijdseenheid geproduceerd wordt. Bij het horen van de term power binnen de sportwereld denken veel mensen meteen aan klassieke krachtsporten, zoals gewichtheffen ofwel aan wielrennen, een uithoudingssport. Het is dan ook niet verwonderlijk dat power niet alleen belangrijk is binnen deze twee sporten, maar in zo ongeveer alle sporten die zich bevinden tussen deze twee uitersten. In dit artikel zullen wij ons focussen op het gebruik van power in explosieve bewegingen. Denk daarbij bijvoorbeeld aan de balsnelheid die Kim Clijsters bij een tennisopslag kon halen, Roberto Carlos die een vrije trap van 30 meter van het doel de winkelhaak in trapte of de eerste milliseconden na het startschot waarbij sprinters uit het startblok schieten. Bij al deze voorbeelden speelt power een cruciale rol. Zonder power, geen prestatie. Maar wat is power nu juist? Hoe kan je het

begrip interpreteren en toepassen? Is power nu echt zo belangrijk en hoe verbeter ik mijn power of zijn er andere parameters die we kunnen gebruiken om onze prestatie te verbeteren? Op deze en andere vragen trachten we een eerste antwoord te geven in dit artikel.

2. Wat is power?

Power is een begrip afkomstig uit de fysica, meer bepaald de mechanica. Het is het product van snelheid en kracht en kan beschreven worden door volgende formule:

$$\vec{P} = \vec{F} \times \vec{V}$$

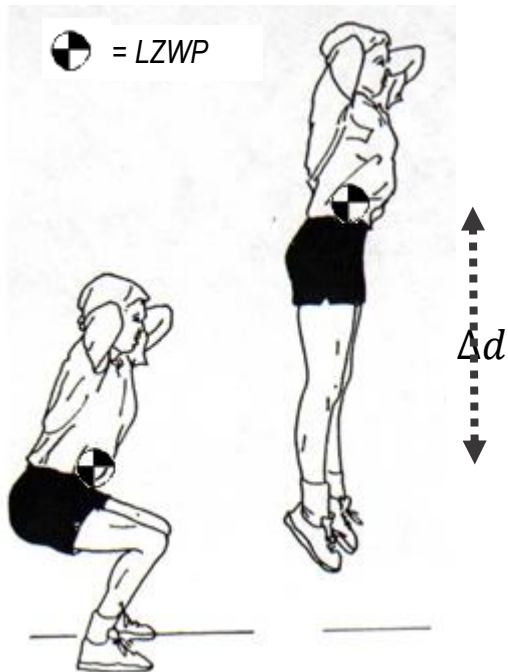
In de meeste systemen geldt algemeen dat een hoge kracht gepaard gaat met een lage snelheid en omgekeerd. Denk aan een auto die snel kan optrekken in de eerste versnelling, maar heel wat moeizamer in een hogere versnelling. Deze regels van de klassieke mechanica werken ook op het menselijke lichaam. Als je gevraagd wordt een bal met een *zo hoog mogelijke snelheid* weg te gooien zal je ook eerder voor een tennisbal kiezen en niet voor een zwaardere bowlingbal, omdat, bij die eerste, *de kracht die je moet produceren veel lager ligt* en de snelheid van de beweging dus veel hoger zal liggen. Om een hoge power te produceren is het echter interessant om zowel een hoge kracht als een hoge snelheid te kunnen ontwikkelen of om de optimale combinatie van de twee te vinden. Laat ons even teruggaan naar de voorbeelden uit de inleiding. Zou Roberto Carlos evenveel doelpunten hebben gemaakt vanuit vrije trappen als de aanloop beperkt was tot slechts één pas? Beeld je

eens in dat we de deelnemers van een 100m voortaan op hun blote voeten op een stuk ijs laten starten. Intuïtief zal je tot de conclusie komen dat de prestatie in deze voorbeelden een pak lager zal liggen. Dit komt doordat ofwel de snelheids- ofwel de krachtsontwikkeling, tijdens deze anders explosieve bewegingen, verhinderd wordt. Snelheid en kracht zijn even belangrijk voor het ontwikkelen van power. Dit wil zeggen dat dezelfde *relatieve verandering* in snelheid de power evenveel zal doen toenemen als een zelfde *relatieve verandering* in kracht. We kunnen onze power dus verdubbelen door bijvoorbeeld ofwel onze snelheid ofwel onze kracht te verdubbelen.

Merk op dat zowel de kracht (\vec{F}) als de snelheid (\vec{V}) vectoren zijn (aangeduid door de pijl boven de symbolen), dit wil zeggen dat ze zowel een grootte als een richting hebben. Het product van twee vectoren is eveneens een vector. Power (\vec{P}) heeft dus niet alleen een grootte, maar ook een richting. Dat de grootte cruciaal is in explosieve bewegingen lijkt evident, hoe hoger de powerontwikkeling bij een worp met een speer, hoe verder die zal vliegen (ervan uitgaande dat techniek, afwerprichting, enz. niet veranderen). Maar ook de richting van de powerontwikkeling speelt een belangrijke rol bij prestatie. Een hoogspringster zal bij haar afstoot de voornamelijk horizontaal gerichte loopsnelheid moeten omzetten in een verticale afstoot. Hierdoor zal zij een hogere verticale power moeten ontwikkelen. Twee sprinters met eenzelfde maximale powerontwikkeling bij een blokstart, maar met een andere richting van deze power zullen na de eerste pas een verschillende voorwaartse snelheid hebben (Morin et al., 2012).

Het is dan ook belangrijk dat power ontwikkeld wordt in de juiste richting.

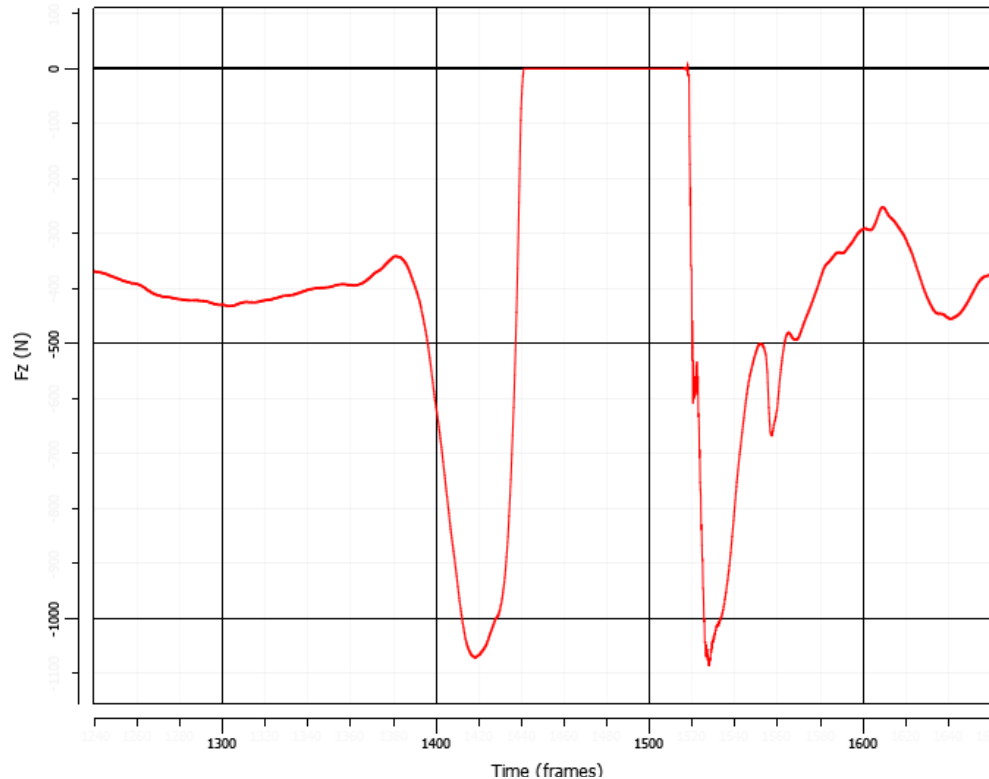
Hierbij spelen coördinatie en techniek een belangrijke rol. Om deze begrippen te kwantificeren wordt power vaak berekend op het niveau van de verschillende gewrichten (zo hebben we binnen het labo Biomechanica van de Menselijke Beweging aan de KU Leuven kunnen aantonen dat er verschillen zijn tussen de relatieve powerbijdrage van het heup-, knie- en enkelgewricht tussen jongeren en volwassen sprinters van hoog niveau bij de eerste pas na een sprintstart). Naast het bepalen van de power per gewricht, wordt vaak de resultante power ten opzichte van het lichaamszwaartepunt berekend. Het lichaamszwaartepunt is een fictief punt dat het ruimtelijk middelpunt voorstelt van de massa van alle afzonderlijke lichaamsdelen. Bij iemand die rechtop staat bevindt het lichaamszwaartepunt zich gemiddeld gezien net boven het bekken. De juiste coördinatie van gewrichtspower zou uiteindelijk moeten resulteren in een zo groot mogelijke power in de juiste richting ter hoogte van dit lichaamszwaartepunt. Ter vereenvoudiging zullen we een voorbeeld geven, waar we mee zullen blijven werken voor de rest van het artikel: Een atleet voert een ‘squat jump’ uit waarbij de armen niet gebruikt worden (zie figuur 1). Om er voor te zorgen dat de atleet los kan komen van de grond, moet hij voldoende power ontwikkelen om de zwaartekracht te overwinnen.



Figuur 1: voorbeeld van een squat jump met bijhorende verplaatsing (Δd) van het lichaamszwaartepunt

Deze power, die aangrijpt op het lichaamszwaartepunt, kan berekend worden uit de ontwikkelde kracht (meestal de grond-reactie kracht (GRF)) en snelheid van het lichaamszwaartepunt. De snelheid van het lichaamszwaartepunt kan eenvoudig via videoanalyse berekend worden door de verplaatsing per tijdseenheid te meten. Het meten van de grond-reactie kracht kan d.m.v. een krachtenplaat (zie figuur 2). Deze methode wordt veelal toegepast in het onderzoek

(Zink et al., 2006, Dayne et al., 2011, Rahmani et al., 2001), maar is eenvoudig inzetbaar in de praktijk mits toegang tot het benodigde materiaal. In principe kan voor elke beweging de power berekend worden wanneer de snelheid en kracht gemeten kunnen worden. Daarnaast zijn er bewegingen, zoals de squat jump en de sprint start, waarbij de ontwikkelde power kan worden afgeleid uit de performance (spronghoogte, danwel voorwaartse versnelling). Een voorbeeld hiervan is de My Jump app, die specifiek voor de verticale squat jump de power berekent op basis van een filmopname van de sprong, gemaakt met een tablet of smartphone (daarbij gebruikmakend van de tijd tussen de afzet en landing; Balsalobre-Fernández et al., 2015). Er zijn echter talloze andere voorbeelden binnen explosieve sporten waarbij power op een minder of meer geavanceerde manier kan worden bepaald en benut ten behoeve van de prestatie, zoals bijvoorbeeld de tennisopslag (Martin et al., 2014), de honkbal pitch (Roach en Lieberman 2014), bankdruk oefeningen (Sreckovic et al., 2015) en natuurlijk de versnellingsfase in de sprint (Morin et al., 2012), ook belangrijk in teamsporten zoals rugby (Cross et al., 2014) en voetbal (Buchheit et al., 2014).



Figuur 2: voorbeeld van de verticale GRF tijdens een squat jump en daaropvolgende landing. Merk op dat dit een uitvoering is waarbij er slechts 1 been op de krachtenplaat staat. Omdat het een reactiekracht (y-as) voorstelt, zal de waarde meer negatief worden bij een hogere afzetkracht.

3. Maximale powerontwikkeling, een kwestie van snelheid, kracht of beiden?

In het vorige hoofdstuk werd reeds duidelijk dat het leveren van maximale power belangrijk is voor prestatie in heel wat sporten. Als we onze prestatie willen verbeteren lijkt de oplossing dus eenvoudig: we verhogen onze maximale power! Eenvoudiger gezegd dan gedaan. Op welke manier kunnen we het beste de powerontwikkeling in een bepaalde beweging verhogen? Proberen we de snelheid van de beweging te verbeteren, de kracht waar we de beweging mee uitvoeren, of beiden? Deze vraag is al sinds jaar en dag een hot topic zowel binnen de onderzoekswereld als bij trainers, coaches en atleten. De laatste jaren is op dit gebied veel vooruitgang geboekt, voornamelijk door het werk van een Franse groep

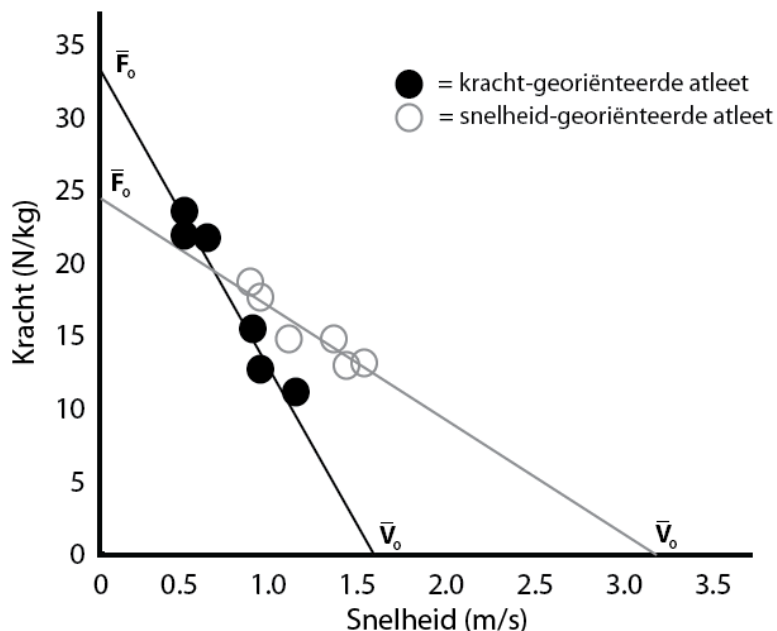
onderzoekers onder aanvoering van Prof. Pierre Samozino en Prof. Jean-Benoit Morin. Via een complexe analytische benadering bekwamen zij één wiskundige formule (zie Appendix – vergelijking (1)) om maximale spronghoogte (van dezelfde squat jump als in ons voorbeeld) te berekenen op basis van 3 parameters:

- F_0 : de theoretische maximale kracht die iemand kan leveren bij een sprong.
- V_0 : de theoretische maximale snelheid die iemand kan leveren bij een sprong.
- h_{PO} : de verticale verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens de afzetbeweging.

De h_{PO} kan eenvoudig bepaald worden op basis van videoanalyse. Hierbij kan de locatie van het lichaamszwaartepunt

geschat worden (zoals eerder in dit artikel aangehaald) en met een merkteken, zoals bijvoorbeeld een stukje plakband, op de atleet aangeduid worden. Het traject van dit merkteken kan vervolgens gevolgd worden bij de videoanalyse en de verticale verplaatsing ervan kan berekend worden. Voor de berekening van F_0 en V_0 is wat meer werk nodig, maar ook dit kan relatief eenvoudig bepaald worden door trainers en coaches mits toegang tot een krachtenplaat (zie hoofdstuk 4 voor alternatieven). Om deze parameters te bepalen dient men een individuele F-V profiel voor de atleet op te stellen. Dit wordt gedaan door de atleet op de krachtenplaat meerdere squat jumps te laten uitvoeren met verschillende gewichten (7 gewichten tussen 0% en 240% lichaamsgewicht in Samozino et al., 2012). Aan de atleet wordt gevraagd om elke beweging *zo snel als mogelijk* uit te voeren. Er dienen dan ook voldoende rustpauzes (> 2 min.) genomen te worden tussen de sprongen om vermoeidheid te vermijden. Van elke sprong wordt de gemiddelde kracht en snelheid tijdens de afstootfase (van het begin van de beweging (snelheid > 0) tot de atleet loskomt van de grond (kracht = 0) of tot de snelheid van de beweging 0 is, bepaald. Deze gemiddelde waarden worden uitgezet op een kracht-snelheid grafiek waarna er een rechte lijn getrokken wordt door al deze datapunten om het F-V profiel te bepalen (zie figuur 3). Deze rechte wordt doorgetrokken tot deze kruist met de x- en de y-as. De snijpunten aan deze x- en y-as zijn dan respectievelijk de V_0 en F_0 . Merk hierbij op dat de eerste twee parameters, F_0 en V_0 , ook gebruikt worden voor het berekenen van de maximale power (zie Appendix – vergelijking (2)).

Om de maximale spronghoogte te verhogen, dient men een of meer van deze parameters te verhogen. Aangezien de h_{PO} op zekere hoogte anatomisch beperkt is tot het maximaal uitstrekken van de benen, zijn het voornamelijk F_0 en V_0 die interessant zijn voor het verbeteren van de prestatie van een atleet. Deze waarden kunnen sterk verschillen van persoon tot persoon en dienen dus voor iedere atleet individueel bepaald te worden. Hierbij merkten de onderzoekers op dat het dus goed mogelijk is dat twee atleten die eenzelfde maximale power, P_{max} , kunnen leveren, grote verschillen vertonen in hun maximale snelheid en maximale kracht. Maar welke is nu de doorslaggevende parameter om de maximale power te verhogen? In een artikel uit 2012 gingen deze onderzoekers, op zoek naar een antwoord op deze prangende vraag: *altius, citius of fortius?* (Samozino et al., 2012). Het vernieuwende van hun aanpak was dat zij zich niet beperkten tot het berekenen van de maximale power per atleet, zoals voordien gebruikelijk was (Cronin en Sleivert, 2005; Cormie et al., 2011), maar individuele kracht – snelheid (F-V) profielen opstelden. Zoals reeds aangehaald in het voorgaande hoofdstuk, ligt de snelheid van uitvoering bij een beweging met een hoge krachtontwikkeling altijd lager dan wanneer er minder kracht ontwikkeld wordt. Dit zorgt voor een negatieve lineaire relatie tussen de kracht en snelheid van de beweging. Hoewel deze relatie voor iedereen een negatieve, lineaire curve zal opleveren, kan de helling van deze curve sterk verschillen tussen verschillende personen (zie figuur 3).



Figuur 3: voorbeeld van de F-V profielen van twee verschillende atleten. Gebaseerd op Samozino et al., 2012 (fig.1)

Waarom is dit concept nu zo belangrijk? Kort gezegd, omdat een optimale powerontwikkeling voortkomt uit een optimale afstemming van kracht en snelheid *tijdens de gehele beweging*. Voor het voorbeeld van de squat jump geldt dat tijdens het begin van de afzetbeweging de snelheid nog laag is en de kracht groot.

Tijdens de beweging neemt de snelheid toe en de kracht af. Hoeveel de kracht afneemt bij de toenemende snelheid is afhankelijk van het individuele F-V profiel van de atleet. Voor sommige atleten zal de kracht aanvankelijk heel groot zijn, maar te snel afnemen om aan het einde van de afzetbeweging (wanneer de snelheid hoog is) nog voldoende kracht te kunnen leveren om op dat moment nog een hoge power te ontwikkelen. Andere atleten hebben wellicht te weinig kracht aan het begin zodat het te lang duurt voordat ze voldoende snelheid in hun afzetbeweging hebben om hun snelheid optimaal te

benutten. Het interessante is nu dat, wanneer voor een atleet zijn/haar maximale power en de verticale verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens de afzetbeweging gekend zijn, er een atleet-specifiek optimaal F-V profiel te bepalen is waarmee de totale powerontwikkeling tijdens de afzet optimaal is (Appendix – vergelijking (3)). Om dit theoretisch, optimale F-V profiel te bepalen kan gebruik gemaakt worden van formules 2, 3 en 4 in de Appendix. Merk op dat voor deze formules slechts vier (aangezien je de zwaartekrachtsversnelling (g) constant kan nemen op $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) parameters nodig zijn, namelijk F_0 , V_0 , h_{PO} en \bar{P}_{max} . De bepaling van de eerste drie parameters hebben we hierboven reeds uitgelegd. \bar{P}_{max} kan hierna eenvoudig bepaald worden via vergelijking 2 uit de Appendix.

Door vervolgens het individuele, experimenteel bepaalde, F-V profiel van een atleet te vergelijken met zijn/haar

optimale F-V profiel, kan de F-V onbalans bepaald worden (Appendix – vergelijking 5). Zo lang de experimentele en de optimale curves van een atleet niet gelijk lopen, zal er een onbalans zijn die ofwel naar kracht ofwel naar snelheid zal zijn gericht. Hoe meer het F-V profiel van een atleet afwijkt van zijn/haar optimale profiel (hoe groter de F-V onbalans dus), des te lager zal de prestatie liggen ten opzichte van zijn/haar fysieke mogelijkheden. Hoewel de maximale power nog steeds de meest belangrijke parameter blijft (57,3%), draagt de F-V onbalans ook voor een aanzienlijk deel (9,5%) bij aan de prestatie (Reyes et al., 2014). Deze bijdrage wordt nog belangrijker voor atleten op hoog niveau die niet veel winst meer kunnen boeken door hun maximale power te verhogen via de klassieke methode. Het loont dus de moeite om dit concept van F-V onbalans mee in rekening te brengen als men de prestatie wil verbeteren. Dit concept rond het optimale F-V profiel is tot nu toe voornamelijk bestudeerd met behulp van de squat jump, maar is in principe toepasbaar voor alle explosieve bewegingen. Er liggen dus veel mogelijkheden binnen diverse sporten, zolang de snelheid en de kracht van de beweging gemeten of berekend kunnen worden.

Ter conclusie kunnen we nu een antwoord geven op de vraag of snelheid of kracht belangrijker is bij het verbeteren van de maximale powerontwikkeling: dit hangt af van de atleet en zijn/haar F-V profiel, zijn/haar optimale F-V profiel en de onbalans hiertussen.

4. Power, snelheid en kracht in de praktijk

Voor veel coaches en atleten zal het geen verrassing zijn dat maximale powerontwikkeling het beste kan worden

verbeterd op basis van een individuele analyse en aanpak. Ook ligt het voor de hand dat langdurige gespecialiseerde training zal resulteren in een bepaald F-V profiel (en daarmee waarschijnlijk ook een specifieke F-V onbalans). Sprinters zitten bijvoorbeeld vaak aan de snelheidskant terwijl rugby spelers eerder aan de krachtkant zitten (Reyes et al., 2014; Samozino et al., 2014). Het aanpakken van een dergelijke onbalans kan de prestatie aanzienlijk verbeteren. Zo werd aangetoond dat de F-V onbalans kan zorgen voor een verlies in spronghoogte van meer dan 20% (gemiddeld $10,83 \pm 4,93\%$ bij Spaanse sprinters en springers van internationaal/nationaal niveau; Reyes et al., 2014). Wanneer voor een atleet de F-V onbalans bepaald is, kunnen individuele trainingsschema's opgesteld worden om de F-V onbalans weg te werken. Logischerwijs moet een atleet die eerder kracht-georiënteerd is, meer specifiek trainen op snelheid. Dit kan bijvoorbeeld door te werken met lage gewichten ($<30\%$ van 1RM) of met enkel het lichaamsgewicht. Iemand die snelheids-georiënteerd is, zal anderzijds de focus op krachttraining met hoge gewichten moeten leggen ($>75-80\%$ van 1RM).

In dit kader kan ook de analyse van de versnellingsfase van een sprint nuttig zijn. De versnellingsfase is niet alleen belangrijk binnen de atletiek, maar zeker ook binnen teamsporten als bijvoorbeeld voetbal, hockey, rugby, handbal en honkbal. Eigenlijk in elke sport waar er (herhaaldelijk) een verandering van snelheid op treedt, denk ook aan tennis, bobslee, en vele anderen. Tot nu toe werd het onderzoek voornamelijk gericht op de versnellingsfase bij lopen (sprint (Morin et al., 2012), rugby (Cross et al., 2014) en voetbal (Buchheit et al., 2014)), maar in feite is het concept net zo belangrijk voor

bijvoorbeeld de start bij zwemmen, schaatsen en roeien en de sprint binnen het wielrennen. Meer dan bij de tot nu besproken squat jump, is bij lopen de richting van de powerontwikkeling belangrijk. Uit analyse van de sprintstart in Franse topsprinters, waaronder Christophe Lemaitre, bleek dat voornamelijk de capaciteit om laat in de versnellingsfase, wanneer de snelheid al hoog is, nog altijd grote voortstuwende krachten te ontwikkelen, ten grondslag ligt aan een topprestatie (Morin et al., 2012). Om het F-V profiel (waarbij het in dit geval om de voortstuwende component van de kracht en de voorwaartse snelheid gaat) te bepalen, hoeft in feite enkel de snelheid op verschillende momenten tijdens de versnelling gemeten te worden. Uit de snelheid kan de versnelling berekend worden, op basis waarvan de kracht geschat kan worden (Samozino et al., 2015). Het meest nauwkeurige F-V profiel wordt bekomen wanneer de krachten met krachtenplaten gemeten worden en de snelheid met een laser (zoals bijvoorbeeld het FAST-systeem (Debaere et al., 2013)), maar in feite kan het ook met alleen een laser (Buchheit et al., 2014), of zelfs alleen met timing gates (Samozino et al., 2015).

Met behulp van een atleet-specifiek F-V profiel voor de versnellingsfase van een sprint, kan wederom in kaart gebracht worden voor welke atleet het belangrijk is om te werken aan zijn/haar voortstuwende krachten tijdens het lopen op hoge snelheid. Dit kan bijvoorbeeld worden

gedaan door middel van 2-5 series van 1-5 herhalingen op maximale intensiteit van de volgende oefeningen: ‘hip extension wall drills’, ‘sled-walking’ (50–60% lichaamsgewicht), ‘sled-towing’ (30% lichaamsgewicht), (eenbenige) horizontale sprongen (5% lichaamsgewicht), lunges, ‘hip thrust’ en (eenbenige) Roemeense deadlift (Buchheit et al., 2014; Los Arcos et al., 2014; Meylan et al., 2014)). Ook lopen er momenteel nog diverse studies naar trainingsinterventies specifiek gericht op het wegwerken van de F-V onbalans, dus meer specifieke praktijkaanbevelingen kunnen verwacht worden wanneer deze studies binnenkort gepubliceerd zijn.

5. Conclusies

Een hoge powerontwikkeling, gepaard met een goede coördinatie, speelt een belangrijke rol in alle explosieve sporten. Wetenschappers, coaches en atleten zijn al lang op zoek naar manieren om de maximale power tijdens verschillende bewegingen te verhogen. Recent is er een vernieuwende wetenschappelijke theorie naar voor gebracht. Een theorie die onmiddellijk toepasbaar is in de praktijk. Door het berekenen van het individuele kracht-snelheid profiel van een atleet en het daarbij horende theoretische, optimale profiel, kan de kracht-snelheid onbalans bekomen worden. Door het verkleinen van deze onbalans, kan men de individuele maximale capaciteit van het lichaam benutten en aldus de prestatie verbeteren.

Referenties:

- Aeles, J., Jonkers, I., Debaere, S., Delecluse, C., Vanwanseele, B. Artikel in opmaak
- Balsalobre-Fernández C., Glaister M., Lockett R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sport Sciences*, 33(15), 1574–1579.
- Buchheit M., Samozino P., Glynn J. A., Michael B. S., Al Haddad H., Mendez-Villanueva A., Morin J. B. (2014). Mechanical determinants of acceleration and maximal sprinting speed in highly trained young soccer players. *Journal of Sport Sciences*, 32(20), 1906–1913.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 2 – training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, 41(2), 125–146.
- Cronin, J., Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training. *Sports Medicine*, 35(3), 213–234.
- Cross M. R., Brughelli M., Brown S. R., Samozino P., Gill N. D., Cronin J. B., Morin J. B. (2014). Mechanical Properties of Sprinting in Elite Rugby Union and Rugby League. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, Epub ahead of print.
- Dayne, A. M., McBride, J. M., Nuzzo, J. L. N., Triplett, N. T., Skinner, J., Burr, A. (2011). Power output in the jump squat in adolescent male athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3), 585–589.
- Debaere S., Jonkers I., Delecluse C. (2013). The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 116–124.
- Debaere, S., Delecluse, C., Aerenhouts, D., Hagman, F., & Jonkers, I. Artikel in opmaak.
- Los Arcos, A., Yanci, J., Mendiguchia, J., Salinero, J. J., Brughelli, M., & Castagna, C. (2014). Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 9, 480–488.
- Martin C., Bideau B., Bideau N., Nicolas G., Delamarche P., Kulpa R. (2014). Energy flow analysis during the tennis serve: comparison between injured and noninjured tennis players. *The American Journal of Sports Medicine*, 42(11), 2751–2760.
- Meylan, C. M., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hopkins, W. G., & Contreras, B. (2014). The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24, e156–164.
- Morin, J. B., Bourdin, M., Edouard, P., Peyrot, N., Samozino, P., & Lacour, J. R. (2012). Mechanical determinants of 100-m sprint running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 112(11), 3921–3930.
- Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G., Lacour, J. R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat

exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 227–232.

Reyes, P. J., Samozino, P., Peñafiel, V. C., Conceição, F., Badillo, J. J. G., Morin, J. B. (2014). Effect of countermovement on power–force–velocity profile. *European Journal of Applied Physiology*, 114, 2281–2288.

Roach, N. T., Lieberman, D. E. (2014). Upper body contributions to power generation during rapid, overhand throwing in humans. *Journal of Experimental Biology*, 217(12), 2139–2149.

Samozino, P., Rejc, E., Di Prampero, P. E., Belli, A., Morin, J. B. (2012). Optimal Force–Velocity Profile in Ballistic Movements—Altius: Citius or Fortius? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(2), 313–322.

Samozino, P., Morin, J. B., Hintzy, F., Belli, A. (2010). Jumping ability: A theoretical integrative approach. *Journal of Theoretical Biology*, 264, 11–18.

Samozino, P., Edouard, P., Sangnier S., Brughelli, M., Gimenez, P., Morin, J. B. (2014). Force-Velocity profile: imbalance

determination and effect on lower limb ballistic performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35, 505–510.

Samozino, P., Rabita, G., Dorel, S., Slawinski, J., Peyrot, N., Saez de Villareal, E., Morin, J. B. (2015). A simple method for measuring power, force, velocity properties, and mechanical effectiveness in sprint running. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, Epub ahead of print.

Sreckovic, S., Cuk, I., Djuric, S., Nedeljkovic, A., Mirkov, D., Jaric, S. (2015). Evaluation of force-velocity and power-velocity relationship of arm muscles. *European Journal of Applied Physiology*, Epub ahead of print.

Van Ingen Schenau, G. J., Cavanagh, P. R. (1990). Power equations in endurance sports. *Journal of Biomechanics*, 23(9), 865–881

Zink, A. J., Perry, A. C., Robertson, B. L., Roach, K. E., Signorile, J. F. (2006). Peak power, ground reaction forces, and velocity during the squat exercise performed at different loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 658–664.

Appendix

In alle onderstaande vergelijkingen is:

- h_{max} , de maximale spronghoogte in meter
- h_{PO} , de verticale verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens de afstoot fase (tot $GRF \leq 0$ is)
- g , de zwaartekracht versnelling ($\pm 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
- \bar{F}_0 , de theoretisch maximale kracht die kan geleverd worden tijdens de beweging, genormaliseerd voor het lichaamsgewicht. Uitgedrukt in $N \cdot kg^{-1}$
- \bar{V}_0 , de theoretisch maximale snelheid van de bewegingsuitvoering. Uitgedrukt in $m \cdot s^{-1}$
- \bar{P}_{max} , de maximale power
- S_{FVopt} , de helling van de theoretisch optimale F-V curve
- FV_{Imb} , de onbalans tussen optimale en experimentele F-V curve, in percent
- S_{FV} , de helling van de experimentele F-V curve

$$h_{max} = \frac{h_{PO}^2}{2g} \left(\sqrt{\frac{\bar{F}_0^2}{4\bar{V}_0^2} + \frac{2}{h_{PO}}(\bar{F}_0 - g)} - \frac{\bar{F}_0}{2\bar{V}_0} \right)^2 \quad (1)$$

Vergelijking 1 is waar voor $\bar{V}_0 > 0$, $h_{PO} > 0$ en $\bar{F}_0 > g$.

$$\bar{P}_{max} = \frac{\bar{F}_0 \times \bar{V}_0}{4} \quad (2)$$

$$S_{FVopt} = -\frac{g^2}{3\bar{P}_{max}} - \frac{(-(g^4)h_{PO}^4 - 12gh_{PO}^3\bar{P}_{max}^2)}{3h_{PO}^2\bar{P}_{max}Z(\bar{P}_{max}, h_{PO})} - \frac{Z(\bar{P}_{max}, h_{PO})}{3h_{PO}^2\bar{P}_{max}} \quad (3)$$

Met

$$Z(\bar{P}_{max}, h_{PO}) = (-(g^6)h_{PO}^6 - 18g^3h_{PO}^5\bar{P}_{max}^2 - 54h_{PO}^4\bar{P}_{max}^4 + 6\sqrt{3}\sqrt{2g^3h_{PO}^9\bar{P}_{max}^6 + 27h_{PO}^8\bar{P}_{max}^8})^{1/3} \quad (4)$$

$$FV_{Imb} = 100 \cdot \left| 1 - \frac{S_{FV}}{S_{FVopt}} \right| \quad (5)$$

Met

$$S_{FV} = -\frac{\bar{F}_0}{\bar{V}_0} \quad (6)$$

Uitgewerkt voorbeeld

Hieronder hebben we een voorbeeld uitgewerkt voor de berekeningen die vermeld worden in het artikel. We maken dezelfde berekeningen voor 2 atleten met een verschillend F-V profiel. Deze berekeningen zijn gebaseerd op fictieve data en waarden kunnen dus afwijken van de waarden die jij kan verkrijgen tijdens metingen.

We zullen de volgende stappen in volgorde uitvoeren:

1. *Bespreken van sprongparameters*
2. *Bespreken van “kracht” data*
3. *Bespreken van “snelheid” data*
4. *Uitzetten van individueel F-V profiel*
5. *Berekenen van \bar{P}_{max}*
6. *Berekenen van theoretisch maximale spronghoogte*
7. *Bepalen van theoretisch optimale curve*
8. *Berekenen van F-V onbalans*
9. *Bespreking*

1. Bespreken van sprongparameters

Voor alle verdere berekeningen hebben we slechts 1 sprongparameter nodig, namelijk h_{PO} , of de verticale verplaatsing van het lichaamszwaartepunt tijdens de afstoot fase. In hoofdstuk 2 wordt uitgelegd hoe we dit kunnen meten. We nemen hier een waarde van 0.35m voor atleet A en 0.40m voor atleet B. Voor eenvoud stellen we dat beide atleten een massa van 70 kg hebben.

2. Bespreken van “kracht” data

Zoals vermeld in hoofdstuk 2, verkrijgen we de gegevens van de krachtontwikkeling dmv een krachtenplaat. We meten de gemiddelde verticale grond-reactie kracht voor 7 condities met/zonder toegevoegde gewichten. De gemiddelde verticale GRF wordt nadien gedeeld door het lichaamsgewicht.

Conditie (toegevoegd % lichaamsgewicht)	Kracht-waarde (N/kg)	
	Atleet A	Atleet B
0 %	20,4	18,1
20 %	21,3	18,9
40 %	21,7	19,7
60 %	22,1	20,5
80 %	23,2	21,1
100 %	23,9	21,5
120 %	24,4	21,9

Tabel 1: fictieve kracht-waarden voor een verticale squat-jump.

3. Bespreken van “snelheid” data

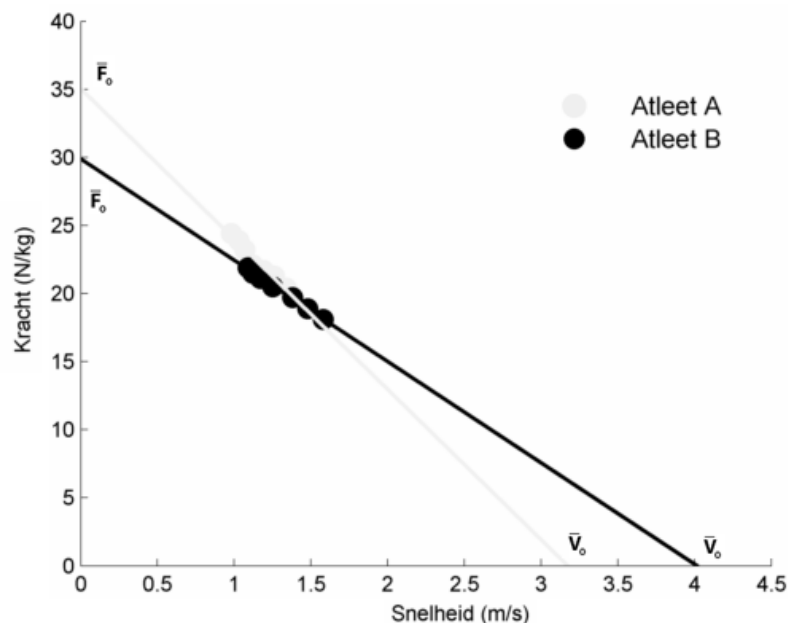
Het bepalen van de gemiddelde verticale snelheid van het LZWP staat eveneens beschreven in hoofdstuk 2. We nemen hier de volgende waarden.

Conditie (toegevoegd % lichaamsgewicht)	Snelheidswaarde (m/s)	
	Atleet A	Atleet B
0 %	1,34	1,58
20 %	1,26	1,48
40 %	1,19	1,38
60 %	1,12	1,25
80 %	1,07	1,17
100 %	1,03	1,12
120 %	0,98	1,09

Tabel 2: fictieve snelheidswaarden voor een verticale squat-jump.

4. Uitzetten van individueel F-V profiel

Door de waarden uit tabel 1 en 2 uit te zetten op een grafiek en er nadien een rechte door de datapunten te trekken (= een lineaire regressielijn of de lijn met de kleinste waarde van de som van de gekwadrateerde afstand tov elk datapunt) krijgen we het volgende resultaat:



Figuur 4: F-V profielen van beide atleten

Op basis van bovenstaande grafiek kunnen we de \bar{F}_0 en de \bar{V}_0 van atleet A en B bepalen. Met deze waarden kunnen we vervolgens S_{FV} bepalen, dit is de hellingsgraad van het F-V profiel in figuur 4. Vervolgens kunnen we in stap 5 de \bar{P}_{max} bepalen.

5. Berekenen van \bar{P}_{max}

Om de \bar{P}_{max} van atleet A en B te bepalen vullen we de bekomen waarden uit stap 4 in in vergelijking 2 uit de Appendix. Dit geeft een uitkomst van:

Atleet A	$\bar{P}_{max} = 30,01 \text{ W/kg}$
Atleet B	$\bar{P}_{max} = 27,79 \text{ W/kg}$

Tabel 3: Berekening van de \bar{P}_{max}

6. Berekenen van theoretisch maximale spronghoogte

Met de waardes bepaald in stap 1,4 en 5 kunnen we nu de maximale spronghoogte bepalen mbv vergelijking 1 uit de Appendix. Dit geeft voor onze atleten:

Atleet A	$h_{max} = 0,36\text{m}$
Atleet B	$h_{max} = 0,40\text{m}$

Tabel 4: Berekening van de h_{max}

7. Bepalen van theoretisch optimale curve

Om de theoretisch optimale curve te kunnen bepalen, berekenen we eerst $Z(\bar{P}_{max}, h_{p0})$ (vergelijking 4).

Atleet A	$Z(\bar{P}_{max}, h_{p0}) = -41,82$
Atleet B	$Z(\bar{P}_{max}, h_{p0}) = -49,76$

Tabel 5: Berekening van de $Z(\bar{P}_{max}, h_{p0})$

Vervolgens kunnen we de helling van het optimale F-V profiel bepalen met vergelijking 3.

Atleet A	$S_{FVopt} = -7,43$
Atleet B	$S_{FVopt} = -6,55$

Tabel 6: Berekening van de S_{FVopt}

8. Berekenen van F-V onbalans

Nu we voor beide atleten het experimenteel-bepaalde F-V profiel en theoretisch optimale profiel bepaald hebben, kunnen we de F-V onbalans berekenen met vergelijking 5 uit de Appendix. Deze onbalans zal weergeven hoe ver en in welke richting (kracht/snelheid) elke atleet afwijkt van zijn maximaal mogelijke capaciteiten.

Atleet A	$FV_{Imb} = 0,04 \%$
Atleet B	$FV_{Imb} = 68,58 \%$

Tabel 7: Berekening van de FV_{Imb}

9. Bespreking

Hier hebben we een fictief voorbeeld besproken van 2 atleten met een verschillende h_{PO} , \bar{P}_{max} , h_{max} en een verschillend F-V profiel. Merk op dat atleet A een hogere \bar{P}_{max} heeft maar uiteindelijk toch minder hoog zal kunnen springen ($h_{max,A} < h_{max,B}$) door een lagere h_{PO} .

Uit de berekeningen van stap 8 kunnen we afleiden dat atleet A een voor hem/haar optimaal F-V profiel heeft. Het is voor deze atleet aangewezen om zijn maximale power te verhogen door zowel op kracht als op snelheid te werken zonder deze optimale balans te verstoren.

Voor atleet B zien we echter dat er een onbalans is van 68% naar kracht toe. De richting van de onbalans kunnen we bepalen door naar de hellingsgraad van de F-V profielen of naar het teken van de onbalans te kijken. We zien dat S_{FVopt} een grotere waarde ($-6,55 > -11,04$) heeft dan S_{FV} . Hierdoor zal deze atleet zijn/haar optimale curve minder steil lopen dan zijn/haar huidige curve. Minder steil (of een positieve onbalans) wil zeggen dat hij/zij momenteel meer kracht-georiënteerd is. Om het huidige F-V profiel dus meer naar het optimale profiel te brengen, zal er voornamelijk op snelheid moeten gewerkt worden.